



ARTIGO ORIGINAL

OPEN ACCESS

MODELO MATEMÁTICO PARA DEFINIÇÃO DE CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO EM REDES LOGÍSTICAS DE SUPRIMENTOS PARA PLATAFORMAS DE PETRÓLEO

MATHEMATICAL MODEL FOR DEFINITION OF DISTRIBUTION CENTERS IN LOGISTICS SUPPLY NETWORKS FOR OIL PLATFORMS

MODELO MATEMÁTICO PARA LA DEFINICIÓN DE CENTROS DE DISTRIBUCIÓN EN REDES DE SUMINISTRO LOGÍSTICO PARA PLATAFORMAS PETROLERAS

Thiara Cezana Gomes ^{1*} & Rodrigo de Alvarenga Rosa ²

^{1 2 3} Universidade Federal do Espírito Santo

¹ thiaracezana@gmail.com ² rodrigoalvarengarosa@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido em: 06.04.2022

Aprovado em: 07.06.2022

Disponibilizado em: 15.06.2022

PALAVRAS-CHAVE: Localização de facilidades; Redes logísticas; Cadeias de suprimentos; Petróleo.

KEYWORDS: Facility Location Problem; Logistics network; Supply chain; Oil.

PALABRAS CLAVE: Localización de las instalaciones; redes logísticas; cadenas de suministro; petróleo.

*Autor Correspondente: Gomes, T. C.

RESUMO

Dentre os objetivos da gestão da cadeia de suprimentos está a disponibilidade de produtos e serviços na quantidade, lugar e tempo corretos. Para isso, a localização das instalações na rede de fornecedores, armazéns e clientes é muito relevante. Principalmente, quando se trata de um país com grande extensão territorial como o Brasil. Isso se torna ainda mais expressivo quando as redes logísticas em questão tratam de suprimentos com alto valor agregado, como no caso das plataformas de petróleo. Assim, este trabalho busca desenvolver um modelo matemático baseado no Problema de Localização de Facilidades n-echelon para definição de Centros de Distribuição (CD) a serem escolhidos para uma melhor configuração da rede logística de suprimentos de plataformas de exploração e produção de petróleo. Oito diferentes cenários foram criados e executados no solver CPLEX 12.6. Os custos de transporte representaram um percentual de participação, entre 52,0% e 69,0%, dentre todos os demais custos envolvidos na elaboração da rede logística. A maior rentabilidade se mostrou quando caminhões maiores foram usados, em detrimento aos caminhões com pequena capacidade. Em 50,0% dos casos apenas dois CD foram alocados e a média de ocupação dos CD alocados foi de 72,0%.

ABSTRACT

Among the objectives of supply chain management is the availability of products and services in the correct quantity, place and time. For this, the location of the facilities in the network of suppliers, warehouses and customers is very relevant, especially when it comes to a country with a large territorial extension like Brazil. This becomes even more relevant when logistics networks deal with the issue of supplies with high added value, as in the case of oil platforms. Thus, this paper seeks to develop a mathematical model based on the Facility Location Problem of Distribution Centers (DC) for a better configuration of the supply logistics network of oil exploration and production platforms. Eight different scenarios were created and run in the CPLEX 12.6 solver. Transport costs represent 52.0% to 69.0% of the percentage of costs involved in the elaboration of the logistics network. The greatest profitability was demonstrated when larger trucks were used at the expense of small capacity trucks. In 50.0% of the cases, only two DC were allocated and the average occupancy of the allocated DC was 72.0%.

RESUMEN

Entre los objetivos de la gestión de la cadena de suministro está la disponibilidad de productos y servicios en la cantidad, lugar y tiempo correctos. Para ello es muy relevante la ubicación de las instalaciones en la red de proveedores, almacenes y clientes. Especialmente cuando se trata de un país con una gran extensión territorial como Brasil. Esto se vuelve aún más expresivo cuando las redes logísticas en cuestión se ocupan de suministros de alto valor agregado, como es el caso de las plataformas petroleras. Así, este trabajo busca desarrollar un modelo matemático basado en el Problema de Instalaciones n-echelon para definir los Centros de Distribución (CD) a elegir para una mejor configuración de la red logística de suministro de las plataformas de exploración y producción de petróleo. Se crearon ocho escenarios diferentes y se ejecutaron en el solucionador CPLEX 12.6. Los costos de transporte representaron un porcentaje de participación, entre 52,0% y 69,0%, entre todos los demás costos involucrados en la elaboración de la red logística. La mayor rentabilidad se mostró cuando se utilizaron camiones de mayor tamaño, en detrimento de los camiones de menor capacidad. En el 50,0% de los casos, solo se adjudicaron dos CD y la ocupación media de los CD asignados fue del 72,0%.



1 INTRODUÇÃO

Dentre os principais objetivos do gerenciamento adequado de uma rede logística, está a possibilidade de manter disponíveis as mercadorias e serviços desejados, na quantidade, momento e lugar correto. Para isso, a geografia e a localização das instalações são pontos importantes dentro da rede de fornecedores, armazéns e clientes (Gomes & Ribeiro, 2020), principalmente, quando se trata de um país com grande extensão como é o Brasil. Caso contrário, há uma elevada chance de ocorrência de gargalos no fornecimento de materiais e serviços.

Isso se torna ainda mais expressivo quando se consideram redes logísticas que envolvem produtos e suprimentos com alto valor como no caso das plataformas de petróleo que possuem custo diário muito elevado. Uma saída para minimizar as chances de ocorrência de gargalos é a implantação de Centros de Distribuição (CD) como nós intermediários dessas redes de suprimentos.

Os CDs ficam instalados em pontos estratégicos, o mais próximo possível dos fornecedores e clientes, de forma a minimizar os custos de transporte. Dentre as principais funções destas instalações estão a recepção de mercadorias de diversos fornecedores, armazenamento e abastecimento do mercado onde está inserido. Buscam também agilidade no recebimento e despacho de mercadorias, evitando assim acúmulo de produtos no estoque e redução de custos (Gomes et al., 2021).

Uma questão básica do gerenciamento logístico é como estruturar sistemas de distribuição capazes de atender de forma econômica os mercados geograficamente distantes das fontes de produção, oferecendo níveis de serviço cada vez mais altos em termos de disponibilidade de estoque e tempo de atendimento (Ballou, 1993).

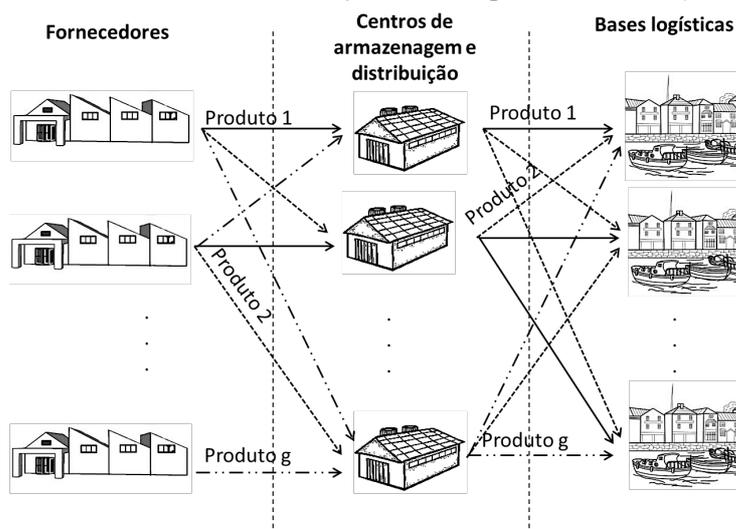
Neste contexto, a atenção se volta para as instalações de armazenagem ou CDs. A funcionalidade destas instalações dependerá da estrutura de distribuição adotada pela empresa. O centro de distribuição tem um papel fundamental dentro da logística, centralizando o estoque de toda a cadeia com intuito de obter vantagens econômicas e de eficiência.

Como forma de obter tais ganhos, sugere-se, por meio desse trabalho, uma metodologia para reestruturação das redes logísticas de suprimentos das plataformas de exploração e produção de petróleo, de maneira a permitir uma maior viabilidade dos fluxos de produtos que circulam pelos arcos.

No problema estudado neste artigo, a rede logística proposta deverá contemplar três elos: (i) os fornecedores de suprimentos e produtos diversos para envio às plataformas; (ii) os centros de distribuição e armazenagem que são facilidades intermediárias; (iii) as bases logísticas que permanecem nas proximidades dos portos para envio desses suprimentos ao alto mar, conforme a Figura 1 abaixo.



Figura 1. Problema de Localização – Múltiplas Camadas (*Two-Echelon*)



Fonte: Autores (2022).

Os fornecedores, os centros de armazenamento e distribuição e as bases logísticas são os nós da rede. As arestas ou arcos que os unem são os possíveis fluxos de transporte dos materiais entre os nós da rede logística. Assim, na rede em questão, uma decisão importante é a definição de quantos e quais centros de armazenamento e distribuição deverão ser construídos para compor a rede logística, decisão esta que pode ser atendida por meio da modelagem matemática de um Problema de Localização de Facilidades (PLF).

Os centros de distribuição e armazenamento desempenham um papel importante em qualquer rede logística, servindo como ligação entre os pontos de fornecimento de produtos/insumos, por exemplo, fábricas e indústrias, e os nós referentes aos clientes, que no caso deste estudo são as bases logísticas. A seguir, alguns dos principais benefícios obtidos por meio da inserção dessas instalações intermediárias na rede logística de suprimentos de plataformas de exploração e produção de petróleo e, conseqüentemente, da alocação e localização correta desses centros de distribuição (Rodrigues & Pizzolato, 2003).

- Obtenção de melhores preços na negociação junto aos fornecedores, pois serão adquiridos grandes volumes para um só destino. Isto beneficia também a questão de custo de frete, evitando pagamento para entregas fracionadas;
- Abertura de mais espaço nas bases logísticas, pois não terão grandes áreas reservadas para estoque, podendo ser abastecidas regularmente ou a mercadoria seguir diretamente do CD para o cliente final;
- Qualidade no atendimento, pois a proximidade do cliente gera agilidade no fornecimento e ganhos no processo logístico, com isso aumenta a satisfação do cliente;
- Possibilidade de um acúmulo maior de cargas de diferentes fornecedores, viabilizando a ida do transporte até as bases logísticas.

Diante de todos esses benefícios obtidos por meio da configuração adequada da rede logística de suprimentos de plataformas de exploração e produção de petróleo e fazendo uso dos centros de distribuição e armazenamento, o estudo propõe um modelo matemático para estruturá-la em



três níveis: (i) fornecedores; (ii) centros de distribuição e armazenagem; (iii) bases logísticas. Para testar a viabilidade da aplicação do modelo matemático proposto foram criados alguns cenários testes. Assim, o objetivo deste artigo é desenvolver um modelo matemático baseado no PLF *n-echelon* para definição centros de distribuição e armazenamento a serem escolhidas para uma melhor configuração da rede logística de suprimentos de plataformas de exploração e produção de petróleo.

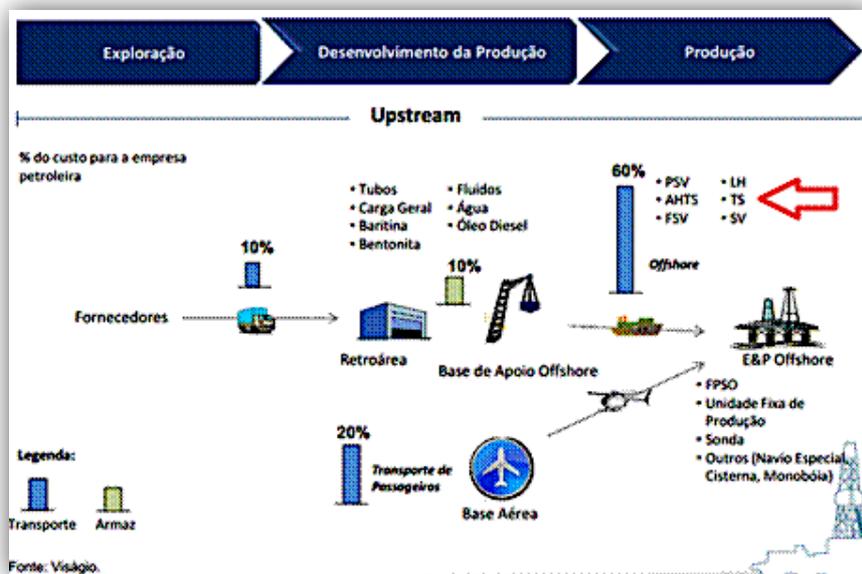
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cadeia de Suprimentos

Para Mentzer *et al.* (2001), a cadeia de suprimentos é definida como um conjunto de empresas diretamente relacionadas por um ou mais fluxos de produtos, serviços e informações desde a origem (fábricas, indústrias e/ou fornecedores) até os clientes. Ou seja, a cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos no atendimento de um pedido de um cliente, incluindo não apenas fabricantes, mas também transportadores, depósitos, varejistas, os próprios clientes (Chopra & Meindl, 2003) e também os centros de distribuição.

Especificamente para cadeia de suprimentos do petróleo, os elementos que vêm antes da unidade produtiva estão à jusante ou na fase *upstream*, que conta com exploração, desenvolvimento da produção e produção em si (Tancredi & Cunha, 2013). A Figura 2 evidencia essa fase da cadeia e mostra, em porcentagem, o custo de cada etapa para as companhias de petróleo.

Figura 2. Jusante da cadeia de petróleo



Fonte: Tancredi & Cunha (2013).

Nota-se na Figura 2 que cerca de 60% do custo de suprimentos das unidades *offshore* é gasto com as embarcações de apoio *offshore*. Do restante, 10% é gasto com armazenagem, 10% com os caminhões que levam os suprimentos às bases de apoio e 20% com o transporte de passageiros às plataformas (Tancredi & Cunha, 2013).



Nessa etapa, as embarcações começam a trabalhar em um sistema chamado de *Milk Run*. Este sistema se caracteriza pela proximidade das unidades a serem supridas e de uma viagem que completa um ciclo desde a saída da base *offshore* até a volta, passando por diversas plataformas e deixando os suprimentos demandados em cada uma delas. As bases de apoio logístico localizam-se em áreas portuárias e recebem diferentes tipos de cargas que deverão ser enviadas para alto mar de forma a suprir as plataformas.

Além disso, também recebem resíduos e equipamentos alugados vindos das plataformas. Busca-se que tais bases estejam localizadas na maior proximidade possível junto aos campos aos quais se pretende atender, reduzindo assim os custos de transporte.

2.2 O Problema de Localização de Facilidades

Os PLF consistem em determinar locais para a instalação de facilidades que atendam às demandas de clientes com o menor custo possível. Facilidades podem representar, por exemplo, postos de saúde, centros de reaproveitamento, escolas, fábricas (Ferri *et al.*, 2015). E clientes podem ser bairros, unidades de vendas, estudantes. Rozental e Pizzolato (2009) afirmam que localizar uma instalação consiste em escolher uma posição para a sua operação de maneira que uma função objetivo seja otimizada (maximizada ou minimizada), satisfazendo algumas restrições.

Contudo, ao tratar problemas reais, torna-se necessário fornecer também a sua área de atendimento. Ou seja, informar ao usuário a facilidade que será alocada. Assim, surge o termo localização-alocação. Localizar ou alocar facilidades é uma importante decisão estratégica a ser tomada por organizações privadas ou públicas (Owen & Daskin, 1998; Farahani *et al.*, 2011; Ferri *et al.*, 2015). Em geral, antes de uma facilidade ser instalada fisicamente, deve-se realizar um estudo de localização para definir o melhor local das instalações e as respectivas capacidades.

Vale ressaltar que para a definição prática da localização, deve-se levar em conta não só fatores quantitativos, mas também, decisões qualitativas que são mais difíceis de mensurar e de extrema importância na decisão final de localização. Dentre os fatores que merecem destaque, citam-se alguns a seguir (Melo *et al.*, 2007): disponibilidade e custos de mão-de-obra, serviços de comunicação, saúde, energia e segurança; taxa de câmbio e barreiras comerciais; regulamentação de impacto ambiental; grau de organização sindical; disponibilidade e custos de serviços públicos; facilidades para o sistema de transporte; custos de instalação, operação e transporte; localização dos concorrentes; clima e temperatura da região; área disponível; incentivos governamentais.

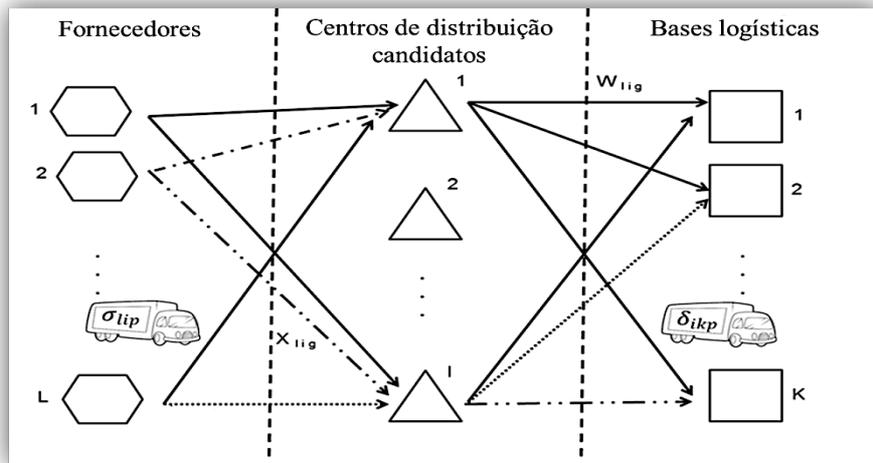
Cabe salientar que os problemas de localização são usualmente classificados como um conjunto de classes dentro da taxonomia existente. Dentre as combinações mais usuais, têm-se: um nível e um único produto (*Single-echelon – Single-comodity*) e dois níveis e vários produtos (*Two-echelon – Multi-comodity*). Aliado a essas combinações mais usuais, pode-se agregar ainda todas as outras classes gerando outros tipos de problemas.



3 MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Nesta seção é apresentado o modelo matemático proposto para resolução do problema com seus conjuntos, variáveis de decisão, parâmetros, restrições e função objetivo. O método em estudo almeja a consolidação dos produtos em centros de distribuição, de forma que as cargas sejam agrupadas em volumes maiores, o que leva a um potencial aumento da quantidade a ser transportada, tornando as vendas mais atrativas. Um esquema visual desta rede multicamadas aplicado à definição de quantos e quais centros de distribuição devem ser abertos para atender a demanda pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Esquema do modelo proposto evidenciando suas variáveis e conjuntos



Fonte: Autores (2022).

O modelo a ser implementado no *solver* CPLEX 12.6 (IBM, 2013) tem como objetivo minimizar os custos fixos de implantação dos centros de distribuição, os custos de operação dessas facilidades e os custos de transporte entre as instalações da rede.

Assim, conforme se nota na Figura 3, seja L o conjunto dos fornecedores, I o conjunto dos centros de distribuição candidatos, K o conjunto das bases logísticas aptas a atenderem essa rede logística, P o conjunto dos diferentes tipos de cargas (granel sólido, líquido ou carga geral...), G o conjunto das diferentes cargas/ produtos.

Dessa forma, para atender toda carga $g \in G$ produzida pelo fornecedor $l \in L$, definido como q_{lg} , deve ser destinado a um centro de distribuição aberto em $i \in I$. Essa quantidade de carga $g \in G$ que irá fluir do fornecedor $l \in L$ para o centro de distribuição $i \in I$, é representada por X_{lig} e, para transportá-la por completo, faz-se necessário σ_{lip} unidades de caminhões de tipo $p \in P$ com capacidade de cc toneladas. Cada CD pode enviar uma quantidade W_{ikg} de cargas nele armazenados para uma base logística $k \in K$, fazendo-se necessário δ_{ikp} unidades de caminhões do tipo $p \in P$ com capacidade de cc toneladas. Ambas as quantidades, X_{lig} e W_{ikg} , são definidas pelo modelo matemático, ou seja, são variáveis. Cabe ainda ao modelo definir quais os CDs deverão ser instalados ou não em função dos custos e dos fluxos de produtos. Para tanto, é definida uma variável Y_i que assume valor 1 se o CD $i \in I$ for instalado e 0 se não for instalado.



O modelo matemático proposto baseou-se nos estudos de Pishvaei *et al.* (2010) diferindo deles por ter uma função objetivo mais abrangente em relação à análise de custos, visto que contempla a minimização não apenas dos custos fixos de instalação dos nós intermediários e dos custos de transporte entre facilidades, mas também a minimização dos custos de operação dos centros de distribuição e armazenamento abertos. Ademais, o modelo segregava em diferentes caminhões as cargas de acordo com o tipo de grupo específico que pode ser, por exemplo, carga geral, granel sólido ou granel líquido.

O modelo proposto possui ainda um índice adicional referente ao tipo específico de carga que será alocada para os centros de distribuição e bases logísticas. Por fim, ele permite a escolha da capacidade do caminhão que será usado na rede logística, além de informar não apenas a quantidade do fluxo de cargas, em toneladas, que flui pelos arcos, mas também a quantidade de caminhões necessária. O modelo é apresentado a seguir em cinco partes: (i) conjuntos; (ii) parâmetros; (iii) variáveis; (iv) função objetivo; (v) restrições.

(i) Conjuntos

L : Conjunto de fornecedores;

I : Conjunto dos centros de distribuição candidatos;

K : Conjunto de bases logísticas;

G : Conjunto dos diferentes tipos de cargas, sendo $G = \{GN \cup GP\}$;

GN : Conjunto dos diferentes tipos de cargas do tipo granel sólido, sendo $GN \subset G$;

GP : Conjunto dos diferentes tipos de cargas do tipo carga geral, sendo $GP \subset G$;

P : Conjunto das diferentes classificações de caminhões quanto ao tipo de carga a transportar.

(ii) Parâmetros

df_{li} : Distância entre o fornecedor $l \in L$ e o centro de distribuição $i \in I$;

ds_{ik} : Distância entre o centro de distribuição $i \in I$ e a base logística $k \in K$;

caf_i : Capacidade de recebimento de cargas do centro de distribuição $i \in I$;

cas_{kg} : Demanda de recebimento de carga $g \in G$ na base logística $k \in K$;

f_i : Custo fixo de instalação do centro de distribuição $i \in I$;

o_i : Custo de operação do centro de distribuição $i \in I$;

cf_p : Custo de transporte da carga com classificação $p \in P$;

q_{lg} : Quantidade de carga $g \in G$ fornecida pelo fornecedor $l \in L$;

rp_g : Informa a classificação da carga $g \in G$, tem valor 0 para carga granel sólido e valor 1 para carga geral;

cc : Informa a capacidade em toneladas do caminhão.

(iii) Variáveis

Y_i : assume valor 1, se o centro de distribuição i é alocado, e 0 caso contrário;

X_{lig} : Quantidade enviada de carga $g \in G$ do fornecedor $l \in L$ para o centro de distribuição $i \in I$;

W_{ikg} : Quantidade enviada de carga $g \in G$ do centro de distribuição $i \in I$ para a base logística $k \in K$;

σ_{lip} : Quantidade de caminhões necessários para realizar o transporte do fornecedor $l \in L$ para o centro de distribuição $i \in I$ de cargas do tipo $p \in P$;

δ_{ikp} : Quantidade de caminhões necessários para realizar o transporte do centro de distribuição $i \in I$ para a base logística $k \in K$ de cargas do tipo $p \in P$;



(iv) **Função objetivo**

$$\min \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{i \in I} o_i Y_i + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} df_{li} cf_p \sigma_{lip} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} ds_{ik} cf_p \delta_{ikp} \quad (1)$$

(v) **Restrições**

$$\sum_{i \in I} X_{lig} = q_{lg} \quad \forall l \in L, g \in G \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} W_{ikg} = \sum_{l \in L} X_{lig} \quad \forall i \in I, g \in G \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} X_{lig} \leq Y_i \text{ caf}_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} W_{ikg} = cas_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G \quad (5)$$

$$\sigma_{lip} \geq \sum_{g \in GN} X_{lig} / cc \quad \forall l \in L, i \in I, p \in \{0\} \quad (6)$$

$$\sigma_{lip} \geq \sum_{g \in GP} X_{lig} / cc \quad \forall l \in L, i \in I, p \in \{1\} \quad (7)$$

$$\delta_{ikp} \geq \sum_{g \in GN} W_{ikg} / cc \quad i \in I, k \in K, p \in \{0\} \quad (8)$$

$$\delta_{ikp} \geq \sum_{g \in GP} W_{ikg} / cc \quad i \in I, k \in K, p \in \{1\} \quad (9)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$Z_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (11)$$

$$X_{lig} \in R^+ \quad \forall l \in L, i \in I, g \in G \quad (12)$$

$$W_{ikg} \in R^+ \quad \forall i \in I, k \in K, g \in G \quad (13)$$

$$\sigma_{lip} \in Z^+ \quad \forall l \in L, i \in I, p \in P \quad (14)$$

$$\delta_{ikp} \in Z^+ \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (15)$$

A Função Objetivo (1) visa minimizar os custos totais referentes a implantação da rede logística. Para tanto, a primeira parcela da função objetivo soma o custo fixo de implantação de um ou mais centros de distribuição, a segunda parcela contabiliza o custo de operação



relacionado à abertura de um ou mais CDs, a terceira parcela agrega a soma do custo de transporte das cargas dos fornecedores para todos os CDs (1ª camada da rede). Já a quarta parcela representa o custo de transportar as cargas dos CDs até as bases logísticas (2ª camada da rede). Ressalta-se que para os custos de transporte, o modelo realiza a diferenciação de preços para carga geral, granel líquido e granel sólido, visto que ocorre a segregação dessas cargas em caminhões diferentes.

As Restrições (2) garantem que o total transportado do fornecedor para o centro de distribuição não seja maior que o total de cargas previamente fornecido estabelecido fornecedor. As Restrições (3) asseguram que o total de cargas que é transportado de todos os fornecedores para os centros de distribuição seja igual ao total que é transportado dos centros de distribuição para as bases logísticas, trata-se de uma restrição de balanceamento de fluxo. As Restrições (4) garantem que o total de cargas que é transportado de todos os fornecedores para um CD não exceda a capacidade de receber cargas deste centro de distribuição. As Restrições (5) são restrições de demanda asseguram que toda a carga que é transportada de todos os CDs para uma base logística seja igual a demanda de receber cargas desta base.

As Restrições (6) e (7) definem o número de caminhões necessários para realizar o transporte das cargas granel e carga geral dos fornecedores para os centros de distribuição. As Restrições (8) e (9) são semelhantes às Restrições (6) e (7), mas relacionam-se ao segundo nível da rede logística. Assim, envolvem o transporte de cargas dos CDs para as bases logísticas. Por fim, as Restrições (10) e (11) indicam que as variáveis Y_i e Z_{ik} são binárias, ou seja, assumem apenas valor 0 ou 1. As Restrições (12) e (13) garantem que as variáveis X_{li} e W_{ik} são reais e positivas. E as Restrições (14) e (15) indicam que σ_{lip} e δ_{ikp} são variáveis inteiras positivas.

Ressalta-se que uma premissa do modelo é que todos os caminhões precisam obrigatoriamente passar por algum CD. Isso porque se entende que há quantidades não muito grandes de materiais de diferentes fornecedores e no CD os produtos serão armazenados e acumulados, tornando assim a ida do caminhão até a base mais viável, visto que poderão ser alocados mais produtos tornando o índice de ocupação do veículo maior.

4 CENÁRIOS E PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

4.1 Apresentação dos Cenários

Para tornar a metodologia desse estudo mais concreta foram criados oito cenários testes para exemplificar a construção da rede. Esses cenários possuem diferenciações entre si relacionadas a: (i) capacidade dos caminhões utilizados; (ii) variação na área e, conseqüentemente, da capacidade dos centros de distribuição; (iii) projeção de aumento de produtos a serem fornecidos às bases logísticas, considerando um possível aumento da exploração e produção de petróleo a médio prazo.

Dessa maneira, esses oito cenários podem ser divididos em três grupos que possuem em comum os parâmetros que foram alterados e que, ao final da execução, buscou-se entender melhor o funcionamento Tabela 1.



Tabela 1. Análises previstas para cada cenário

Grupo	Cenário	Análise a ser realizada
I	1	Analisar a capacidade dos caminhões e o impacto no custo de transporte.
	2	
	3	
II	4	Analisar o impacto da variação da capacidade dos centros de distribuição candidatos nos custos totais.
	5	
	6	
III	7	Verificar se o padrão de sensibilidade do modelo se mantém com o aumento na quantidade de cargas a fornecer.
	8	

Fonte: Autores (2022).

Em cada cenário foram efetuadas alterações quanto a parâmetros como capacidade dos caminhões e dos centros de distribuição, além da quantidade de produtos a serem transportados entre os nós, conforme nota-se na Tabela 2.

Tabela 2. Sintetização dos cenários propostos

Grupo	Cenário	Capacidade dos caminhões (t)	Quantidade de centrais de transbordo disponíveis (unidade)	Quantidade de produtos a serem transportados (t)	Capacidade dos centros de distribuição (t)
I	1	16,0	8 CDs	1.900	CD 1 - 1.089 t CD 2 - 2.273 t CD 3 - 873 t CD 4 - 1.500 t CD 5 - 1.500 t CD 6 - 1.500 t CD 7 - 1.500 t CD 8 - 1.500 t
	2	27,5	8 CDs	1.900	Conforme Cenário 1
	3	40,0	8 CDs	1.900	Conforme Cenário 1
II	4	27,5	8 CDs	1.900	Todas os centros de distribuição possuem capacidade igual a 2.000 t
	5	40,0	8 CDs	1.900	Todas os centros de distribuição possuem capacidade igual a 1.000 t
	6	40,0	8 CDs	1.900	Todas os centros de distribuição possuem capacidade igual a 500 t
III	7	40,0	8 CDs	2.850	Conforme Cenário 1
	8	40,0	8 CDs	2.850	Todas os centros de distribuição possuem capacidade igual a 1.000 t

Fonte: Autores (2022).

A capacidade específica dos caminhões foi utilizada buscando atender três segmentos: um menor (16,0 toneladas), um com capacidade média (27,5 toneladas) e o terceiro tipo com elevada capacidade (40,0 toneladas). Com isso, buscou-se entender melhor qual o comportamento do modelo e os ganhos obtidos por meio da variação do tamanho da frota.



4.2 Elos da Rede Logística

A rede logística tratada nesse estudo conta com três elos: os fornecedores, os centros de distribuição a serem escolhidos e as bases logísticas. Considerou-se para esse estudo nove fornecedores que produzem quatro diferentes tipos de produtos a serem transportados até as bases. Esses fornecedores estão localizados em diferentes pontos do mapa. Os locais que serão localizados por meio dos resultados obtidos pelo modelo matemático são representados pelos nós da camada intermediária desta rede logística, os centros de distribuição.

Os centros de distribuição devem atender aos fornecedores. Assim, foram estipulados oito centros candidatos que estão localizadas nas proximidades dos nove fornecedores. Em relação à localização e possível instalação dos CDs, tomou-se como base a premissa que os locais estejam localizados em regiões que possuam espaço físico disponível nas proximidades dos fornecedores a serem atendidos e também das bases logísticas, visto que a modelagem busca a minimização dos custos de transporte. Depois de enviados aos CDs, as cargas seguem para diferentes bases. Para os oito cenários propostos, foram estipuladas três bases logísticas.

4.3 Matrizes de Distância

O modelo matemático desenvolvido necessitou da elaboração de duas matrizes de distância. Para elaboração dessas matrizes foi feito um mapa no *Google Maps* com três camadas: fornecedores, centros de distribuição e armazenamento e bases logísticas. Nele foram salvos os endereços de todos os nós da rede logística a ser projetada, ou seja, os endereços de todos os fornecedores, centros de distribuição candidatos e também das bases.

Dada a localização espacial dessas facilidades, as distâncias euclidianas foram obtidas entre todo par $(l, i), l \in L$ e $i \in I, e (i, k), i \in I, k \in K$, em seguida, corrigidas em 10%, conforme sugere o trabalho de Pimentel (2004). As duas matrizes de distância utilizadas podem ser vistas na Tabela 3 e 4.

Tabela 3. Matriz de distância (km) - 1ª Camada

Fornecedor/CD	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6,13	4,73	3,28	5,92	24,56	68,78	73,62	67,02
2	0,49	1,85	3,21	0,86	24,64	67,10	71,94	65,23
3	0,52	0,90	2,34	0,33	21,89	66,11	70,95	64,35
4	5,30	3,91	2,45	5,04	23,99	68,21	73,05	66,45
5	3,53	2,09	0,69	3,28	22,12	66,34	71,18	64,58
6	71,67	70,21	70,70	71,36	67,87	18,37	2,13	12,21
7	72,55	71,09	71,58	72,24	68,53	18,59	2,33	12,65
8	1,88	0,40	1,00	1,58	20,52	64,74	69,58	62,98
9	69,03	67,57	68,06	68,72	64,68	15,51	2,43	9,00

Fonte: Autores (2022).



Tabela 4. Matriz de distância (km) - 2ª Camada

CD/Base logística	1	2	3
1	8,18	6,73	7,22
2	29,98	28,52	29,01
3	18,10	16,64	17,13
4	22,06	20,60	21,09
5	33,28	31,82	32,31
6	18,76	17,30	17,79
7	22,61	21,15	21,64
8	14,69	13,23	13,72

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 3 define valores para as diferentes combinações de distâncias dos fornecedores para os centros de distribuição e armazenamento. E a Tabela 4 fornece as distâncias dos centros até as bases logísticas.

4.4 Capacidade das Facilidades

Para os cenários do Grupo I, as áreas dos CDs 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 1.089,0 m²; 2.273,0 m²; 873,0 m². E para os demais, CDs 4 a 8, estimaram-se as áreas em 1.500,0 m², aproximadamente, a média dos CDs 1, 2 e 3. Tendo em vista a impossibilidade de estabelecer um padrão de conversão de metros quadrados para toneladas em face da heterogeneidade das cargas, adotou-se o padrão de conversão que uma tonelada de carga ocupa um metro quadrado de área.

Já para os cenários do Grupo II, os oito CDs candidatos possuíam áreas iguais em cada um dos cenários, a listar: 2.000 toneladas no Cenário 4, 1.000 toneladas no Cenário 5 e 500 toneladas no Cenário 6. Dessa maneira, por meio das áreas de cada um dos centros, foi possível obter a capacidade em toneladas de cada uma dos CDs. Ressalta-se que nos cenários do Grupo III foram usados centros de distribuição com as capacidades do Grupo I e também CDs de 1.000 toneladas. A escolha baseou-se nos melhores resultados obtidos nos grupos anteriores.

4.5 Custo Fixo de Instalação e de Operação dos Centros de Distribuição

4.5.1 Custo Fixo de Instalação dos Centros de Distribuição Candidatos

O custo fixo de instalação está relacionado aos custos de aquisição de terreno, de construção das instalações físicas, de aquisição de máquinas e equipamentos (Schwartz, 2006). Dessa forma, esse custo aumenta se a capacidade do CD aumentar, afinal, uma maior capacidade sugere um aumento da área utilizada e um aumento do número de maquinário (Ferri *et al.*, 2015). Por isso, nos cenários onde há a redução da capacidade e área dos centros de distribuição candidatos, os custos de instalação acabam sendo menores, conforme nota-se na Tabela 5.



Tabela 5. Cálculo do custo fixo de instalação dos centros de distribuição candidatos - Cenários Grupo I

CD	Área (m ²)	Custo do terreno (R\$/m ²)	Custo de aquisição do terreno (R\$)	Custo da construção do galpão (R\$)	Custo da compra de máquinas, equipamentos e ferramentas (R\$)	Custo Fixo de Instalação (R\$)	Custo Fixo de Instalação (R\$/sem)
1	1.089	200	217.800	751.138	70.000	1.038.938	2.164
2	2.273	200	113.650	1.567.802	140.000	1.821.452	3.795
3	873	200	43.650	602.152	70.000	715.802	1.491
4	1.500	200	75.000	1.034.625	105.000	1.214.625	2.530
5	1.500	300	450.000	1.034.625	105.000	1.589.625	3.312
6	1.500	60	89.310	1.034.625	105.000	1.228.935	2.560
7	1.500	194	291.660	1.034.625	105.000	1.431.285	2.982
8	1.500	550	825.000	1.034.625	105.000	1.964.625	4.093

Fonte: Autores (2022).

Assim, para o valor final do custo fixo de instalação dos CDs candidatos utilizou-se o custo da compra do terreno somado ao custo da construção do galpão, da compra de máquinas e de compra de equipamentos. As diversas parcelas para obtenção do custo fixo de instalação de cada um dos CDs candidatos encontram-se na Tabela 5. Por fim, o custo fixo de instalação foi então dividido pelo tempo de vida útil dos centros de distribuição devido à depreciação de investimento. Considerou-se que o tempo de vida útil para esse tipo de facilidade é de 10 anos. Como a frequência estipulada de envio dos produtos é semanal, para o lançamento no CPLEX, o valor anual foi dividido por doze meses e posteriormente por quatro semanas.

Esse valor foi, por meio de proporção, ajustado para as diferentes áreas dos centros de distribuição contemplados nos diferentes cenários. O custo de instalação, também tende a reduzir com a diminuição da capacidade dos CDs.

4.5.2 Custo de operação dos centros de distribuição candidatos

No que tange o custo de operação, pode-se dizer que este se refere ao custo dos salários e encargos dos funcionários, manutenção do local e dos equipamentos, gastos de luz, água e telefone (Schwartz Filho, 2006). De acordo com Ferri *et al.* (2015), um centro de armazenagem com 500,0 m² necessita de cinco funcionários, que recebem um salário mínimo cada, um gasto de R\$ 3.000,00 com manutenção e pintura ao longo do ano e R\$ 600,00 mensais destinados a energia, água, gás e telefone. Tais valores foram convertidos para base temporal de 2015, totalizando R\$ 131.307,65/ano com custo fixo de operação, conforme detalhamento dos CDs. Ressalta-se que para o salário por funcionário houve acréscimo de 155% sobre o valor do salário mínimo, referentes aos encargos de custo do trabalho, conforme estudos de Souza *et al.* (2012).

O valor anual do custo de operação listado na Tabela 6, refere-se a uma facilidade intermediária de 500,0 m² conforme estudo de Ferri *et al.* (2015). Esse valor foi, por meio de proporção, ajustado para as diferentes áreas dos centros de distribuição contemplados nos diferentes cenários. O custo de operação, tal como o custo de instalação, também tende a reduzir com a diminuição da capacidade dos CDs.



Tabela 6. Cálculo do custo de operação para centro de distribuição de 500m²

Custo de operação	
Número de funcionários (un)	5
Salário de um funcionário (R\$/mês)	2.009
Custo com funcionários (R\$/mês)	10.047
Custo com funcionários (R\$/ano) (1)	120.564
Custo com manutenção e pintura (R\$/ano) (2)	3.160
Custo energia, água, gás e telefone (R\$/mês)	632
Custo com energia, água, gás e telefone (R\$/ano) (3)	7.584
Custo de operação anual (R\$/ano) (4) = (1) + (2) + (3)	131.308
Custo de operação mensal (R\$/mês)	10.942
Custo de operação semanal (R\$/mês)	2.736

Fonte: Autores (2022).

4.6 Custo de Transporte

Os custos de transporte entre as facilidades da rede logística tratada foram estipulados de acordo com o tipo específico de carga, ou seja, granel sólido, granel líquido e carga geral, além da capacidade do caminhão e as distâncias percorridas. Notou-se que caminhões maiores possuem um custo de transporte, em $R\$/(\text{km} \cdot t)$, menor que caminhões menores. Assim, o custo de transporte para caminhões de 16; 27,5 e 40t foi obtido, de forma a manter uma determinada variabilidade de opções para testar a sensibilidade do modelo. A Tabela 7 ilustra esses custos conforme o tipo de carga e também os respectivos cenários nos quais serão usados. Ressalta-se que para granel sólido o valor foi 50% superior ao estabelecido para carga geral.

Tabela 7. Custos de transporte

Capacidade do caminhão (t)	Tipo de carga a transportar	Custo de transporte (R\$/(\text{km} \cdot t))	Cenário
16	Granel sólido	1,875	1
16	Carga geral	1,250	1
27,5	Granel sólido	1,650	2
27,5	Carga geral	1,100	2
40	Granel sólido	1,500	3 - 8
40	Carga geral	1,000	3 - 8

Fonte: Autores (2022).

Então, para o cálculo do custo total de transporte na rede logística foi considerada previamente a capacidade dos caminhões, de acordo com parâmetro cc , informação esta que variou de acordo com os cenários; a quantidade de caminhões demandados para determinado trecho, conforme o valor encontrado para as variáveis σ_{lip} e δ_{ikp} apresentados no Capítulo 4; o valor cobrado, em $R\$/(\text{km} \cdot t)$, de acordo com a Tabela 7; a especificação do tipo de carga em geral ou granel sólido e, por fim, a distância a ser percorrida entre dois nós df_{li} e ds_{ik} , de acordo com as matrizes de distância apresentadas na Seção 5.2. O cálculo do custo de transporte entre dois nós foi então realizado com base na equação (16).

$$\text{Custo de transporte} = (\text{Quantidade de caminhões } \delta_{ikp}). (\text{Capacidade dos caminhões } cc).$$

$$(\text{Distância } df_{li}). (\text{Valor cobrado por } \frac{R\$}{\text{km} \cdot t}) \quad (16)$$



Ressalta-se que o valor cobrado incide sobre um caminhão, e não sobre a quantidade de toneladas que são transportadas. Se há, por exemplo, 17 toneladas de produtos a serem transportados e a frota de caminhões possui capacidade para 16 toneladas, será necessário o pagamento de dois caminhões, mesmo que um deles transporte apenas uma tonelada de carga.

4.7 Demanda de Produtos

Dentre os dados necessários para a consecução desta pesquisa, destacam-se:

- Volume de produtos por tipo e por subdivisão do tipo específico de carga (carga geral, granel líquido, granel sólido). A última informação é necessária para ocorrer a segregação dos produtos por tipo de caminhão, já que os preços por frete podem variar de acordo com o tipo de carga;
- Fornecedor de origem;
- Base logística para qual o produto será destinado, ou seja, a demanda de produto de cada base.

Nos cenários do Grupo I e II o valor total de produtos a transportar foi de 1.900 toneladas, já no Grupo III esse valor foi ampliado para 2.850 toneladas. Ao todo foram quatro tipos diferentes de produtos, sendo três deles carga geral e um granel sólido.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

O modelo matemático proposto foi implementado e testado com o *solver* CPLEX 12.6 (IBM, 2013) em um computador equipado com um processador Intel i5 com 8GB memória RAM. A Tabela 8 apresenta os resultados relativos à execução dos diferentes cenários.

Tabela 8. Resultados para os diferentes cenários

Cenário	Tempo (min)	Capacidade dos caminhões (t)	Nº de CDs (un.)	CDs abertos (un.)	Custos				
					CF	CO	CT 1 (R\$/sem.)	CT 2	Custo Total
1	0,01	16,0	8	2 (CD 1 e 7)	5.146	14.165	9.101	32.904	61.316
2	0,02	27,5	8	2 (CD 1 e 7)	5.146	14.165	8.977	29.347	57.635
3	0,03	40,0	8	2 (CD 1 e 7)	5.146	14.165	8.935	27.002	55.248
4	0,03	40,0	8	2 (CD 1 e 7)	7.756	21.885	6.235	26.425	62.301
5	0,03	40,0	8	3 (CT 1, 3 e 7)	5.747	16.413	5.858	27.615	55.634
6	0,03	40,0	8	5 (CD 1, 3, 4, 7 e 8)	5.628	13.678	7.951	29.046	56.303
7	0,04	40,0	8	3 (CT 1, 3 e 7)	6.638	18.941	7.445	45.368	78.392
8	0,28	40,0	8	4 (CD 1, 3, 7 e 8)	8.549	21.885	12.997	39.191	82.622

CD: Centro de Distribuição; CF: Custo fixo de instalação; CO: Custo de operação; CT 1: Custo de transporte - Fornecedores para Centros de distribuição; CT 2: Custo de transporte - Centros de distribuição para Bases logísticas.

Fonte: Autores (2022).

Nela é possível visualizar o cenário em análise, o tempo de processamento para cada um dos oito cenários, a capacidade dos caminhões utilizados durante a execução, o número de centros de distribuição (CD) disponíveis e também quantos e quais CDs foram alocadas ao final da execução do cenário. Da sexta coluna em diante há informações referentes aos resultados

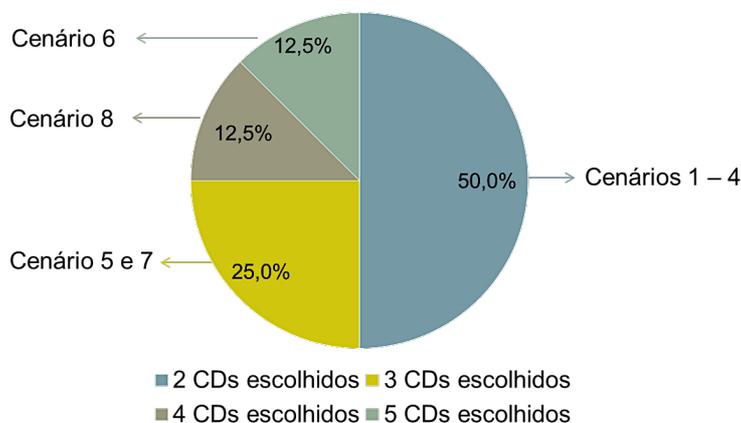


financeiros obtidos. As cinco últimas colunas retratam os custos associados a abertura dos CDs e o transporte das cargas na rede logística. A listar, em sequência, da sexta até a décima coluna: custo fixo de instalação dos centros de distribuição e armazenamento candidatos; custo de operação dos CDs; custo de transporte dos fornecedores para os centros de distribuição (1ª camada); custo de transporte dos centros até as bases logísticas (2ª camada); por fim, custo total obtido pela somatória dos custos citados anteriormente.

Ressalta-se que para 100,0% dos cenários foi possível obter *gap* de otimalidade de 0,0%. Trata-se de um resultado bastante satisfatório, principalmente, ao perceber que, em média, os resultados foram obtidos com 0,06 minutos. Ou seja, o modelo fornece soluções ótimas em um curto intervalo de tempo.

Além disso, na maior parte dos cenários, 50,0% deles, apenas dois centros de distribuição foram abertos. Em dois cenários, Cenários 5 e 7, houve a abertura de três CDs. Em um cenário, o Cenário 8, esse número subiu para quatro. Já a alocação de cinco centros de distribuição foi observada em apenas um cenário, o de número 6, conforme Figura 4. Notou-se ainda que o CD 7, foi alocado em todos os cenários, pois além de possuir um posicionamento estratégico em relação a alguns fornecedores, mais próximo dentre todas os oito CDs disponíveis, ainda possuía o segundo menor custo de instalação dentre os centros que estavam nas proximidades da região. Por fim, a quantidade de centros de distribuição abertos e quais especificamente foram alocados também variou conforme o seu distanciamento em relação aos fornecedores e às bases logísticas e, também, de acordo com a capacidade estipulada para cada um dos CDs.

Figura 4. Quantidade de centros de distribuição escolhidos

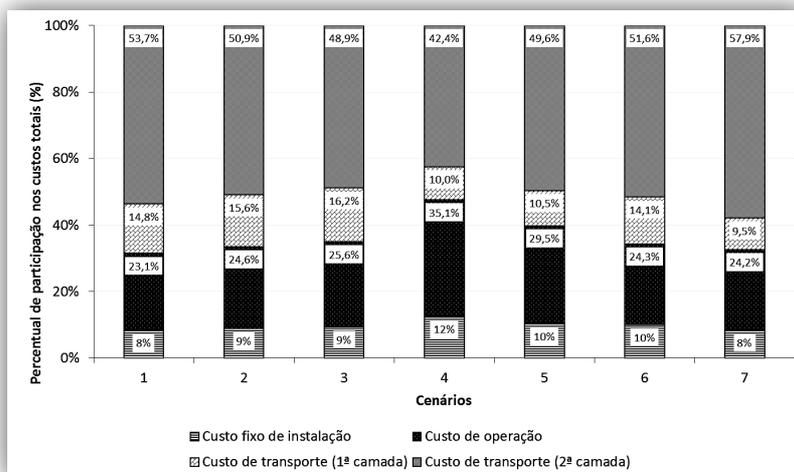


Fonte: Autores (2022).

Conforme gráfico da Figura 5, dentre os custos contabilizados neste modelo, os mais impactantes foram os de transporte, oscilando entre 52,0% a 69,0% do total, parcela bastante expressiva. Assim, sinaliza-se uma necessidade de atenção por parte do gestor para esse tipo específico de custo.



Figura 5. Gráfico de representatividade de cada um dos custos

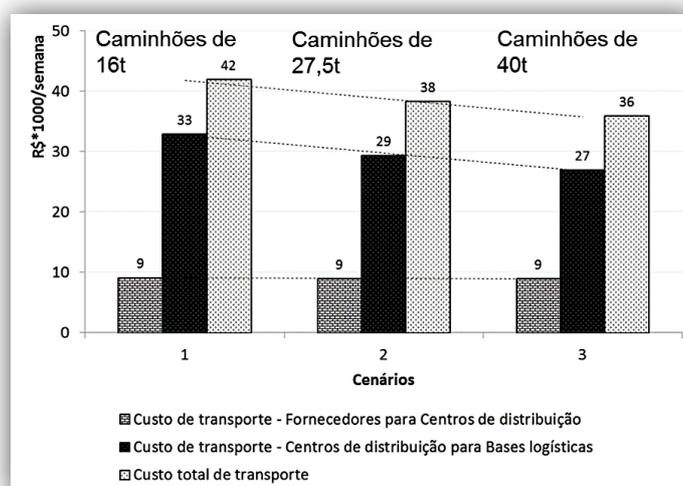


Fonte: Autores (2022).

Ademais, no que tange os custos de transporte, nota-se pelos resultados dos Cenários 3 a 6, expostos na Tabela 8, que quantitativamente, a contratação de caminhões com maior capacidade torna o custo de transporte mais barato, pois o valor em $R\$/(\text{km. t})$ para caminhões maiores é menor que para caminhões menores.

A Figura 6 ilustra a tendência decrescente dos custos à medida que o tamanho dos caminhões aumenta, mesmo mantendo a quantidade total de produtos a transportar constante nos três cenários. Entretanto, outros testes foram realizados e notou-se que quando há uma grande variedade de cargas a serem transportadas em pequenas quantidades, caminhões menores obtêm resultados mais satisfatórios. Tal fato é explicado pelo ajuste que o modelo realiza forçando o pagamento de um caminhão cheio mesmo que ele esteja trafegando com capacidade incompleta. Percebe-se ainda um maior índice de caminhões com percentual de ocupação baixo quando se faz uso de veículos com 40,0 toneladas devido à vasta capacidade disponível e que nem sempre é necessária.

Figura 6. Custo de transporte para os três primeiros cenários



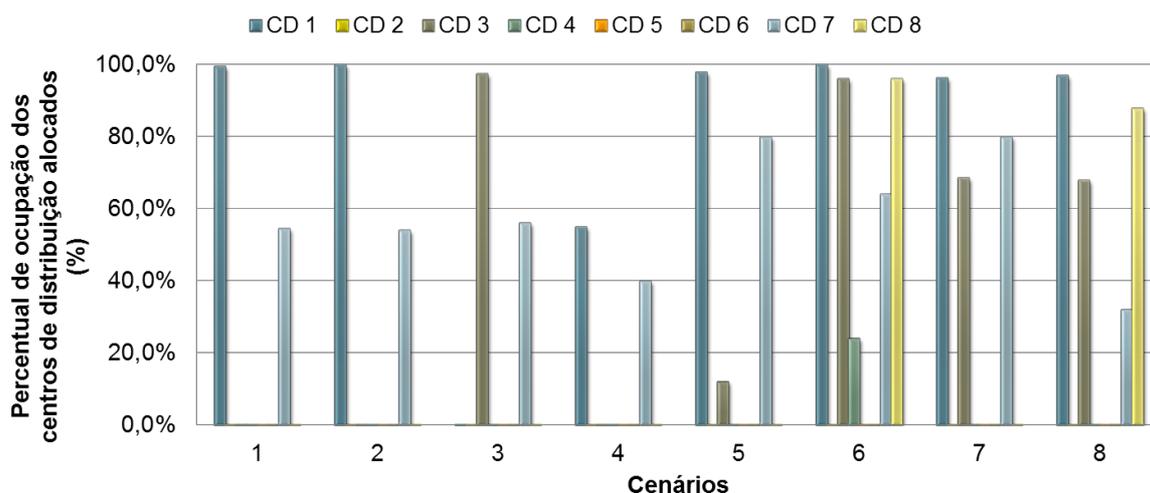
Fonte: Autores (2022).



Ainda sobre o gráfico da Figura 5, a parcela percentual de representatividade do custo fixo de instalação se mostrou inferior ao de operação em todos os cenários. Além disso, no Cenário 4, há um pico no percentual referente ao custo de operação, visto que esse cenário trabalha com CDs maiores que conseqüentemente demandam uma maior quantidade de funcionários, ampliando o custo de operação.

Por fim, no que diz respeito à capacidade disponível que foi efetivamente utilizada nos CDs, pode-se dizer que a média de ocupação foi de 72,0%, considerando apenas os CDs alocados em cada um dos cenários. Especificamente, nos Cenários de 1 a 3 (Figura 7), onde a capacidade dos centros de distribuição era variada, a ocupação obteve um valor médio de 76,9%. Também se observa que no Cenário 4 a ocupação manteve um percentual claramente menor, isso porque nele a capacidade de cada CD foi intencionalmente ampliada para 2.000 toneladas. Logo, a ocupação média dos centros de distribuição reduziu para 47,5%. No Cenário 5, a média de ocupação aumentou para 63,3%, isso porque a capacidade dos CDs diminuiu em relação ao cenário anterior. No Cenário 6, esse valor aumentou para 76,0%, visto que se fez uso de centros de distribuição bem reduzidos, com 500 toneladas. Já os cenários 7 e 8, Grupo III, tiveram um maior percentual de ocupação uma vez que a quantidade de produtos a transportar era maior.

Figura 7. Ocupação dos centros de distribuição



Fonte: Autores (2022).

Em resumo, os resultados dos cenários sinalizaram que centros de distribuição com capacidade mediana, entre 1.000 e 1.500 toneladas, proporcionam maior ocupação e, conseqüentemente, menor ociosidade, menor custo fixo de instalação e de operação, que CDs com capacidade muito elevada. Além disso, CDs menores culminam em uma quantidade maior de instalações alocadas, resultando em uma rede com facilidades mais dispersas e, por conseguinte, há maior possibilidade de estruturação e formalização de processos de venda de produtos localizados em diferentes regiões. Ressalta-se, entretanto, que não é aconselhável trabalhar com projetos de CDs com ocupação máxima ou muito próxima a isso, visto que pode haver algum tipo de sazonalidade na recepção de cargas ou crescimento do valor a movimentar devidas flutuações econômicas positivas.



6 CONCLUSÕES

O objetivo de desenvolver um modelo matemático baseado no Problema de Localização de Facilidades (PLF) *n-echelon* para definição de centros de distribuição e armazenamento a serem escolhidos para uma melhor configuração da rede de logística de suprimentos para plataformas de petróleo foi alcançado.

A estrutura da rede logística proposta apresentou um modelo abrangente, capaz de incluir os principais elos da rede: fornecedores de diferentes produtos, centros de distribuição e bases logísticas. Os CDs projetados contribuem para o funcionamento eficaz e eficiente da logística de suprimentos das plataformas, além de atuarem como consolidadoras de grandes volumes de variados produtos, inclusive de diferentes fornecedores, a serem enviados às bases.

A abrangência dos resultados obtidos por meio dos diferentes cenários modelados no *solver* CPLEX foi importante, visto que permitiu demonstrar premissas sobre os parâmetros que foram modificados. Dentre as principais ratificações e análises obtidas, lista-se o percentual elevado de participação dos custos de transportes dentre todos os demais custos envolvidos na elaboração desta rede logística, entre 52,0% a 69,0%, além da priorização por caminhos com maior capacidade em detrimento aos menores.

Ressaltam-se também os resultados positivos da implantação de CDs com capacidade mediana, entre 1.000 e 1.500 toneladas, ao invés de instalar CDs com elevadas áreas e, conseqüentemente, maior capacidade. Entretanto, deve-se sempre levar em consideração a possibilidade de crescimento de movimentação de cargas diante de flutuações da economia e da possível sazonalidade na recepção de produtos.

Cabe salientar que este trabalho não buscou identificar o melhor dos cenários propostos, mas sim avaliar custos e os impactos referentes a mudanças de diferentes parâmetros nos resultados finais. Não há um cenário ideal, já que este estudo analisa questões relacionadas aos custos totais de instalação e operação dos centros de distribuição, além dos custos de transporte e, sabe-se que há outros aspectos, inclusive qualitativos, que precisam ser levantados para escolha do melhor cenário.

No entanto, é notável a flexibilidade deste modelo e sua real utilidade a outros pesquisadores e gestores. Os resultados obtidos fornecem informações estratégicas para a tomada de decisão quanto à localização de centros de distribuição, de forma a promover a implantação de uma rede logística de suprimentos para plataformas de petróleo mais eficiente e eficaz.

Para trabalhos futuros, sugere-se: (i) o uso de dados reais referentes às informações de localização, listagem de produtos a fornecer e suas respectivas quantidades; (ii) a inclusão de outros elos à rede, por exemplo, as plataformas em alto mar para onde serão enviados os produtos que estão nas bases; (iii) a proposição de um modelo matemático que abranja a roteirização das cargas dentro da rede logística projetada, contemplando uma frota heterogênea de veículos; (iv) a busca por outras técnicas de solução, como heurísticas e meta-heurísticas, para abarcar problemas maiores.



REFERÊNCIAS

- Aikens, C. H. (1985). Facility location models for distribution planning. *European journal of operational research*, 22(3), 263-279.
- Akinc, U. & Khumawala, B. M. (1977). An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem. *Management Science*, 23(6), 585-594.
- Ballou, R. H. (1993). *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. Atlas.
- Berto, R. M. V. & Nakano, D. N. (1999). A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. *Production*, 9, 65-75.
- Chopra, S. & Meindl, P. (2003). Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação. In *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação* (pp. 465-465).
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., & Kardar, L. (2011). *Logistics Operations and Management: concepts and models*. Elsevier.
- Ferri, G. L., Chaves, G. D. L. D., & Ribeiro, G. M. (2014). Analysis and location of urban solid waste collection/inspection centers for a reverse logistics network: a case study in São Mateus-ES. *Production*, 25, 27-42.
- Gomes, C. F. S. & Ribeiro, P. C. C. (2020). *Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação*. Editora Senac Rio.
- Gomes, T. C., Rosa, R. D. A., Chaves, G. D. L. D., & Prata, J. A. (2021). Assessment of the logistics to handle the solid waste generated by seaports operation: a Brazilian case study. *International Journal of Environment and Waste Management*, 28(3), 361-385.
- IBM. (2013). IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. *Version*, 12, 1987-2018.
- Melo, T., Nickel, S., & Gama, F. (2007). Facility location and supply chain management—a comprehensive review. *Berichte des Fraunhofer ITWM*, Nr. 130.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.
- Owen, S. H. & Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European journal of operational research*, 111(3), 423-447.
- Pimentel, F. G. (2004). *Localização de Centros de Distribuição em uma Cadeia de Suprimentos* (Dissertação de mestrado). Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia.
- Pishvae, M. S., Kianfar, K., & Karimi, B. (2010). Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(1), 269-281.
- Rodrigues, G. G., & Pizzolato, N. D. (2003). Centros de Distribuição: armazenagem estratégica. *XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção*, Ouro Preto, MG, Brasil, 21.
- Rozental, M. & Pizzolato, N. D. (2009). Localização de Shopping Center de vizinhança. Estudo de caso: Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento I*(3), 199-207.
- Schwartz, A. J., Filho. (2006) *Localização de Indústrias de Reciclagem na Cadeia Logística Reversa do Coco Verde*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Souza, A. P., Firpo, S. P., Ponczek, V., Zylberstajn, E., & Ribeiro, F. (2012). Custo do Trabalho no Brasil: Proposta de uma nova metodologia de mensuração. *FGV/EESP*.
- Tancredi, G. & Cunha, T. J., da. (2013) *Supridores das Plataformas*. *Oceânica - UFRJ*.

